

# DESCIMBRADO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN. IMPORTANCIA DEL TIPO DE CEMENTO Y CURADO \*

(REMOVING SUPPORTS OF CONCRETE STRUCTURES. IMPORTANCE OF CEMENT TYPE AND CURING CONDITIONS)

Jaime Fernández Gómez, Dr. Ingeniero de Caminos (INTEMAC)

Director de la tesis: José Calavera Ruiz

439-3

## RESUMEN

*Se estudia de forma experimental la evolución de las diversas características mecánicas del hormigón, curado en diversas condiciones, y fabricado con diferentes tipos de cementos.*

*Se expone cuál es la propiedad determinante en el descimbrado, y se da un método que permite el cálculo del plazo de descimbrado en función del cemento empleado y del tipo de curado.*

## SUMMARY

*It is studied the evolution of the mechanics properties of concrete in a experimental way, made with different types of cements and cured in different conditions.*

*It is given the most important properties for removing supports, and a method for calculating the time for doing it, according with the type of cement and curing condition.*

## 1. INTRODUCCION

El descimbrado de estructuras de hormigón armado presenta un problema frecuente en la práctica diaria de construcción.

Para decidir cuándo podemos descimbrar una estructura es necesario verificar que, bajo las cargas actuantes en el momento del descimbrado, ésta posee la suficiente resistencia como para soportarlas. Esto implica conocer la evolución de las características mecánicas del hormigón (resistencia a compresión, tracción \*\*, adherencia y módulo de deformación) con el tiempo. Los pocos datos existentes hacen referencia a hormigones curados en condiciones estándar, a 20°C de temperatura y H.R.  $\geq 95\%$ . Sin embargo, una estructura normal de hormigón, y dependiendo de la época del año, puede estar sometida a temperaturas y humedades de curado muy distintas de las estándar, haciendo que la evolución de sus propiedades varíe. Los datos

experimentales frente a este fenómeno son prácticamente nulos, no sólo en España sino también en el extranjero, salvo unos casos aislados de cementos norteamericanos de tipo análogo a los P (Portland Normal) españoles y referidos a curado al 100% de humedad relativa, lo cual difiere mucho de la humedad habitual en obra.

Por otra parte, la mayor parte de la bibliografía existente en cuanto a propiedades de los hormigones, hace referencia a hormigones fabricados con cementos Portland normales. En España, desde hace algunos años, se ha extendido mucho el uso de los cementos Portland con adiciones activas, constituyendo en el momento actual la mayor parte del cemento utilizado. Estos cementos presentan propiedades específicas, que les diferencia de los cementos Portland normales, y que al carecer de estudios experimentales sobre los hormigones fabricados con ellos ha justificado un estudio experimental de sus propiedades.

\* Tesis leída el 13 de marzo de 1986 en la E.T.S. de Ingenieros de Caminos de Madrid. Obtuvo la calificación de apto cum laude.

\*\* Es obvio que la resistencia a tracción no es directamente utilizada en el trabajo a flexión simple como es el de forjados. Sin embargo, es la resistencia que en gran medida está ligada a las condiciones de anclaje de las armaduras.

## 2. INVESTIGACION EXPERIMENTAL

Se han considerado en nuestro caso hormigones fabricados con cuatro tipos de cementos:

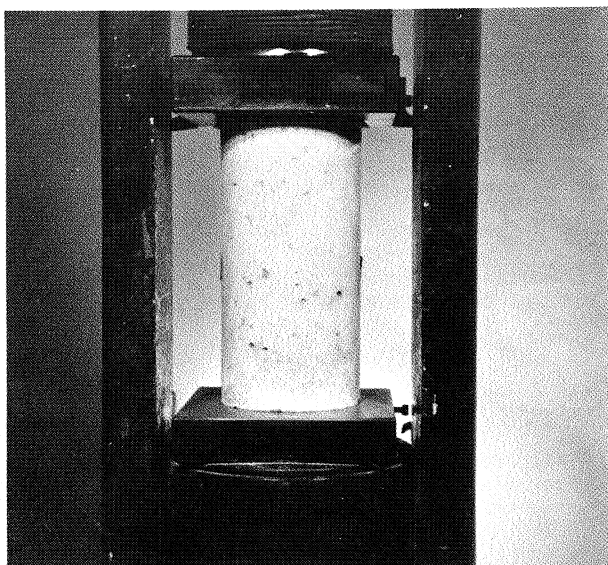


Foto 1. – Ensayo de compresión.

P-350,  
PA-350 (adición puzolana),  
PA-350 (adición puzolana),  
P-450 ARI,

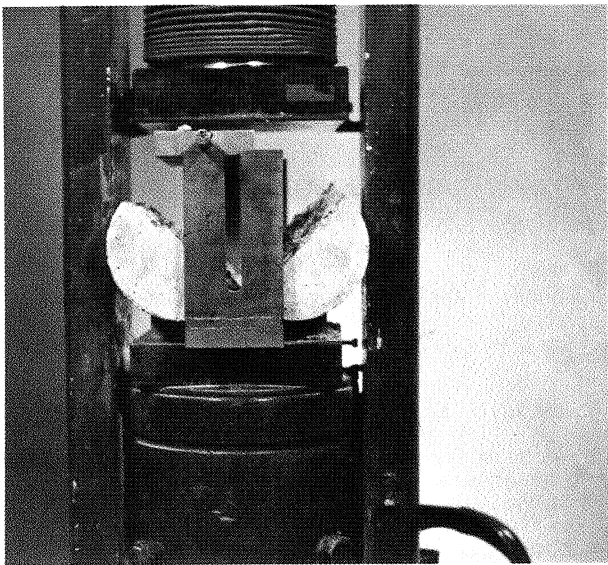


Foto 3. – Ensayo brasileño.

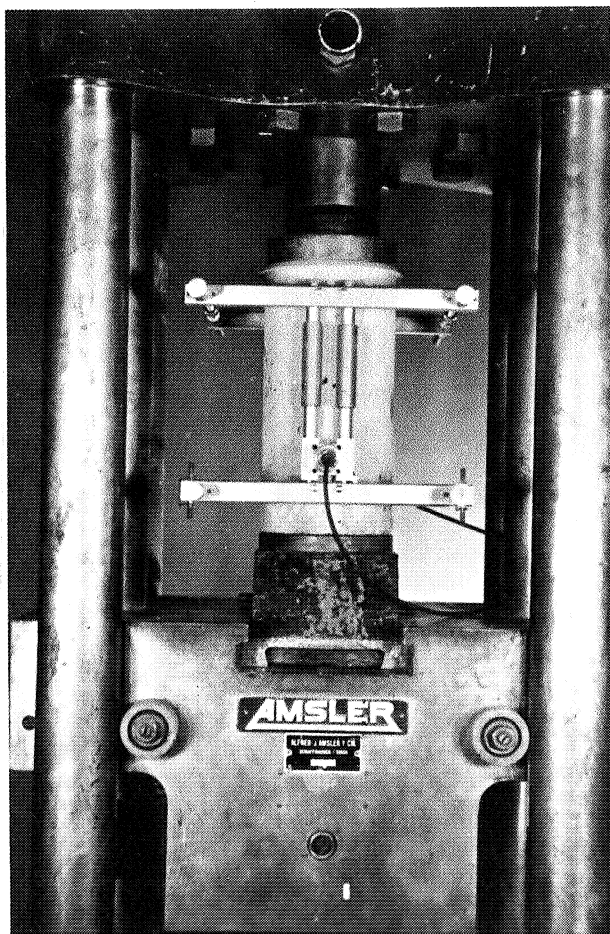


Foto 2. – Determinación del módulo de deformación.

© Consejo Superior de Investigaciones Científicas  
Licencia Creative Commons 3.0 España (by-nc)

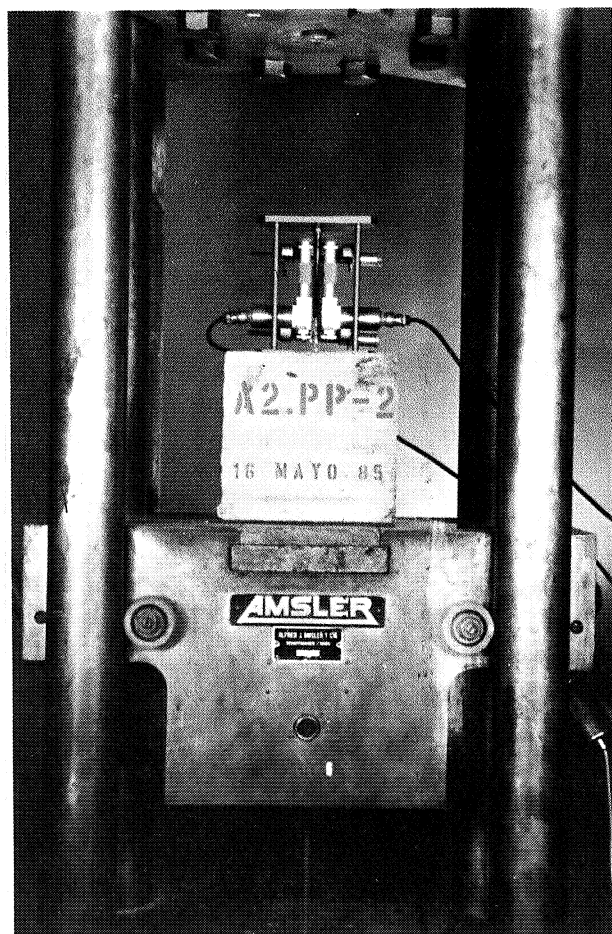


Foto 4. – Ensayo de «pull-out».

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>

y en cada caso se ha estudiado la evolución de la resistencia a compresión, tracción, adherencia y del módulo de deformación, en condiciones de humedad alta y media respectivamente, a las temperaturas de 2º C, 10º C y 20º C. Para ello se han ensayado dos probetas por cada tipo de ensayo y a las edades de 3 días, 7 días y 28 días, ensayándose un total de 240 probetas cilíndricas y 240 probetas de adherencia.

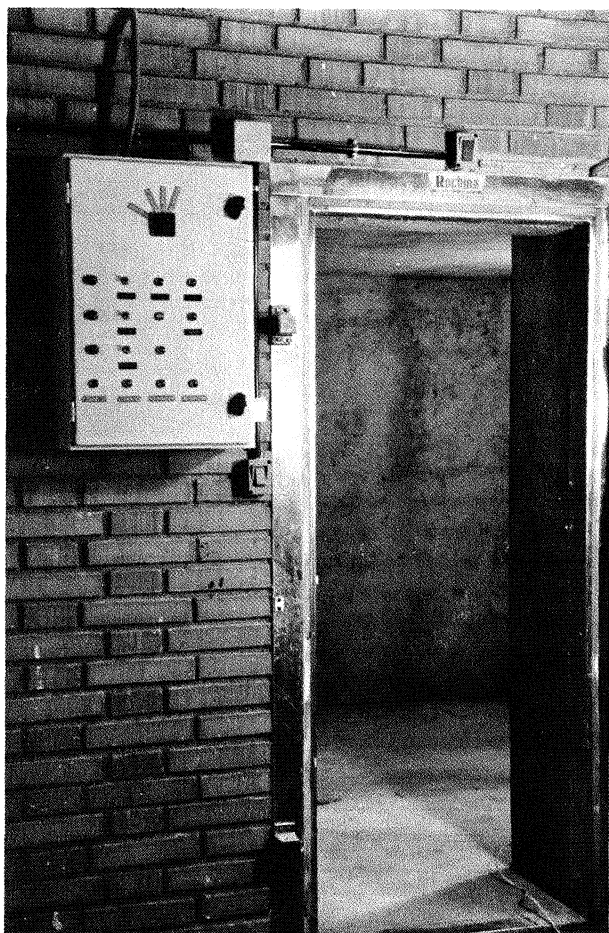


Foto 5. – Cámara especial de curado.

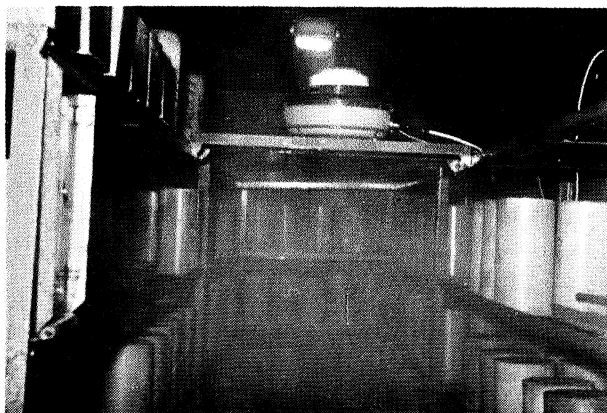


Foto 6. – Cámara de curado estándar.

En las fotografías n.ºs 1, 2, 3 y 4 puede verse la realización de los ensayos, en la fotografía n.º 5 la cámara especial de ensayos de INTEMAC (capaz de regular la temperatura entre + 40º C y - 40º C) utilizada para aplicar las condiciones especiales de curado y en la fotografía n.º 6 la cámara de curado estándar ( $T = 20 \pm 2^\circ \text{C}$  y  $HR \geq 95\%$ ).

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS

Se han deducido las curvas de evolución de las diferentes propiedades para hormigones fabricados con los tipos de cementos ensayados, en función del curado aplicado.

Dado que en general la resistencia a compresión no será condicionante, y el módulo de deformación sólo lo será en aquellos casos en que la flecha sea crítica, la resistencia unitaria crítica para el descimbrado será la más desfavorable de la adherencia y de la tracción. Aunque la resistencia a tracción no tenga una importancia directa en las estructuras, está muy relacionada con las condiciones del anclaje, y por tanto puede considerarse como condicionante.

En las figuras n.ºs 1 a 4, se han representado las curvas de evolución de la resistencia unitaria crítica para el descimbrado, la resistencia a compresión y el módulo de deformación para diferentes temperaturas, agrupando los ábacos en dos humedades de curado, humedad alta y humedad media. Se ha interpolado entre las curvas experimentales otras curvas, para permitir el cálculo de las edades de descimbrado de manera cómoda.

A continuación vamos a presentar unos ejemplos prácticos del cálculo de plazos de descimbrado aplicando las curvas obtenidas.

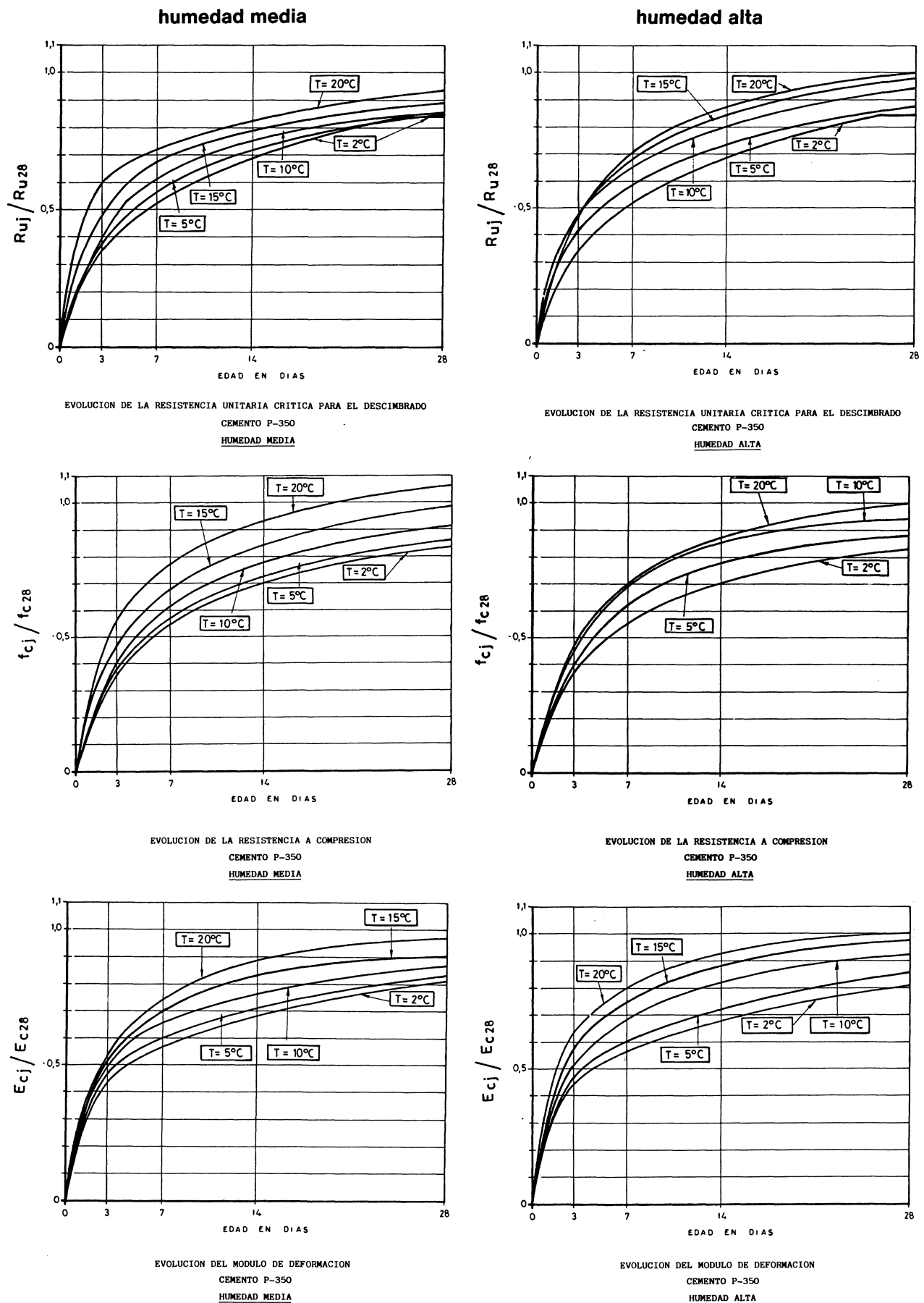


Fig. 1. - Curvas de evolución de características mecánicas. Cemento P-350.

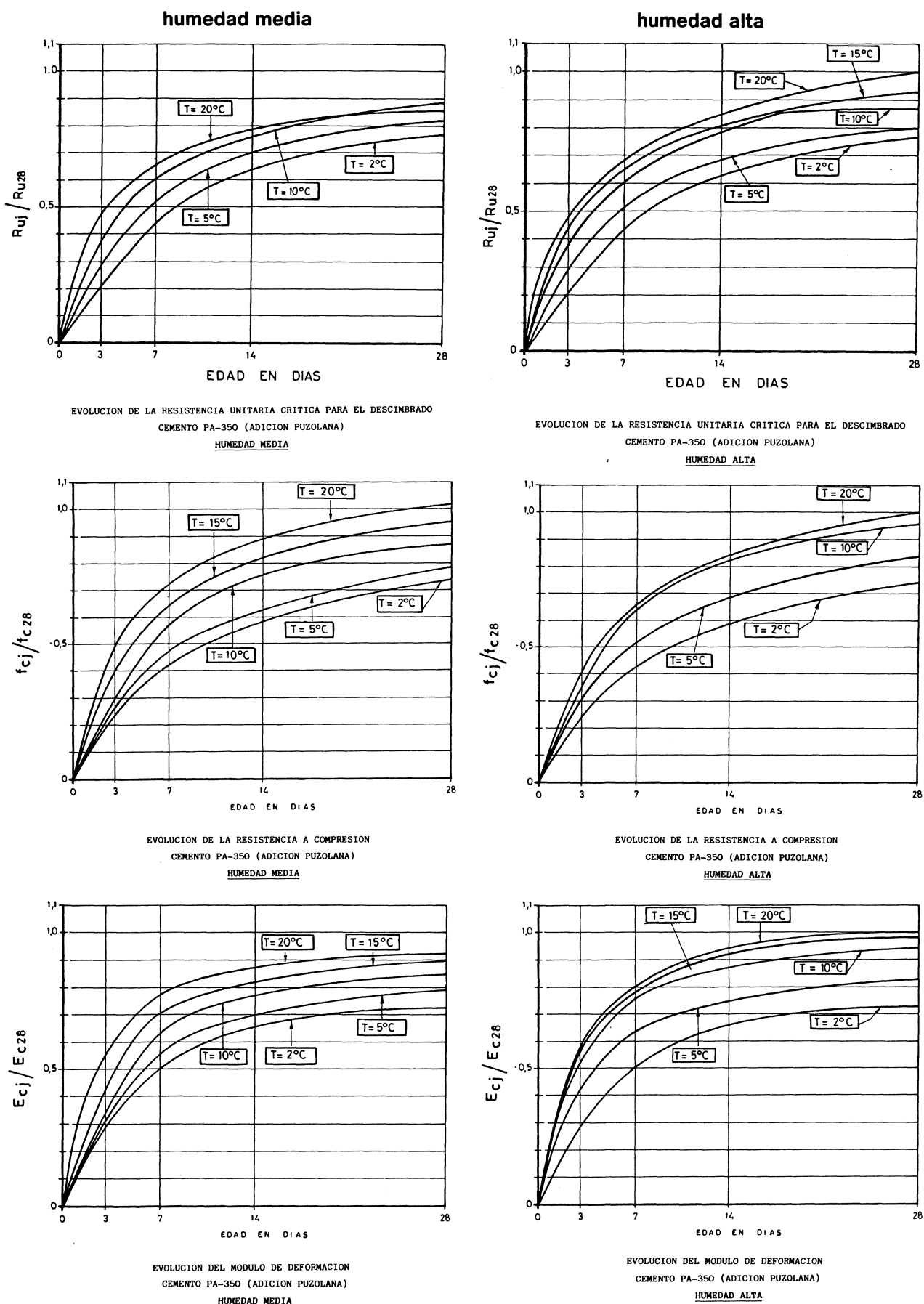


Fig. 2. - Curvas de evolución de características mecánicas. Cemento PA-350 (adición puzolana).

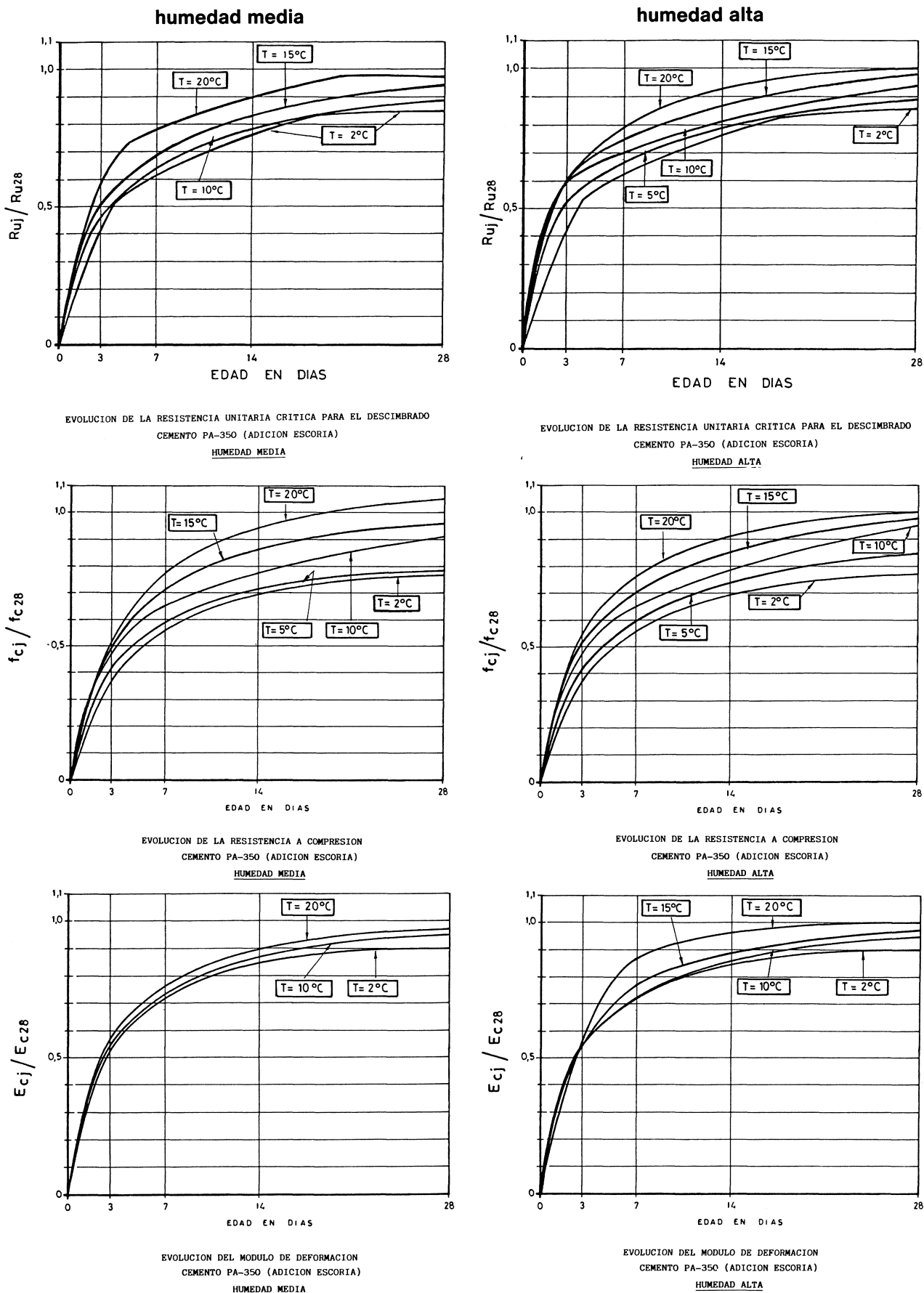


Fig. 3. - Curvas de evolución de características mecánicas. Cemento PA-350 (adición escoria).



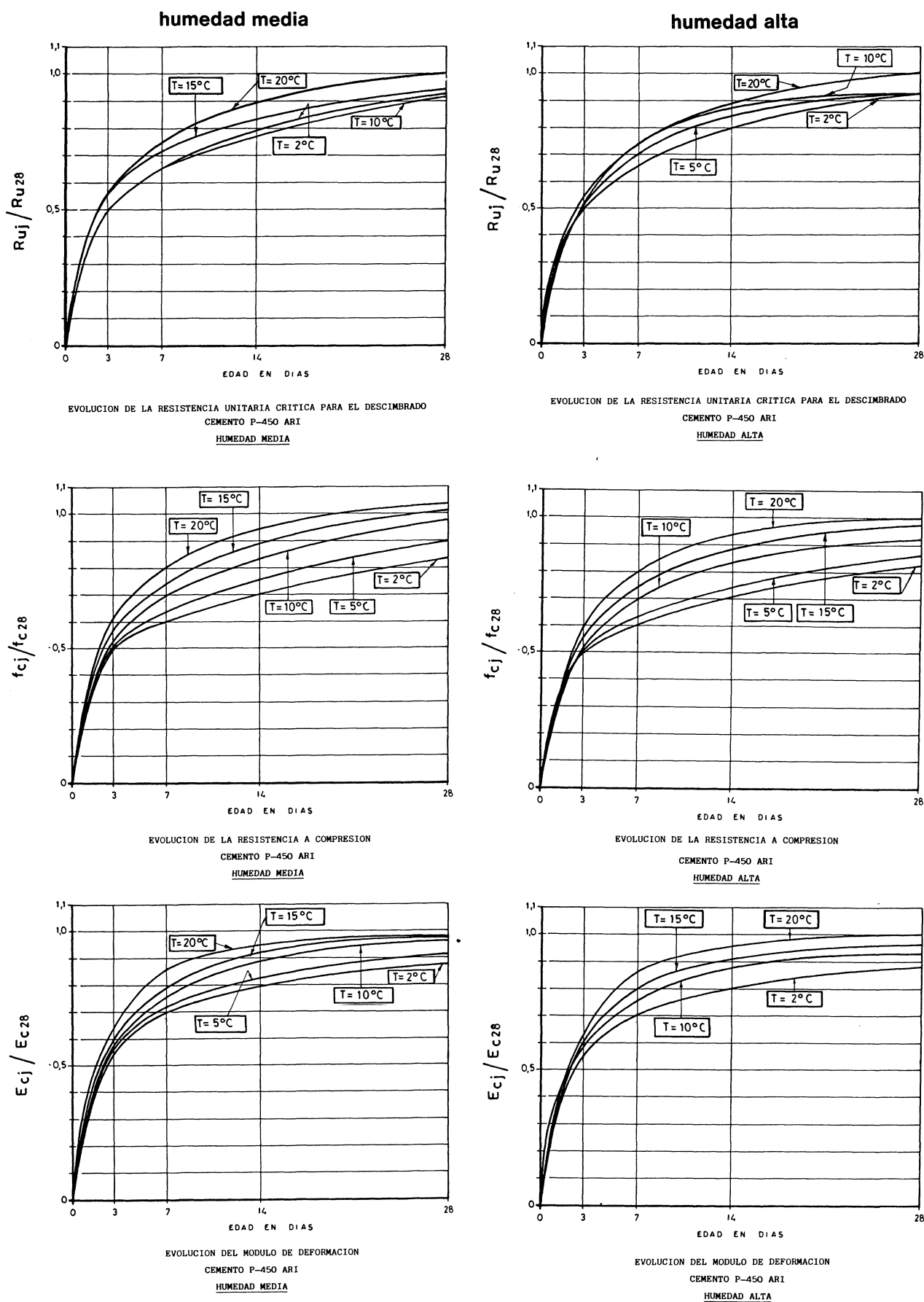


Fig. 4.- Curvas de evolución de características mecánicas. Cemento P-450 ARI.

**EJEMPLO 1**

Sea un forjado de cubierta, el cual está calculado para las siguientes acciones:

**Cargas Permanentes**

Peso propio .....	320 kp/m <sup>2</sup>
Aislante Térmico.....	25 kp/m <sup>2</sup>
Capa de Mortero .....	45 kp/m <sup>2</sup>
Impermeabilización .....	20 kp/m <sup>2</sup>
	<hr/>
	410 kp/m <sup>2</sup>

<b>Sobrecarga (Nieve)</b> .....	80 kp/m <sup>2</sup>
<b>Carga total</b> .....	490 kp/m <sup>2</sup>

La resistencia característica de proyecto del hormigón del forjado es de 200 kp/cm<sup>2</sup>. El forjado se construye sobre cimbra, y se descimbra cuando sobre él actúa su peso propio, y las acciones ambientales previsibles.

Calcular el plazo de descimbrado necesario, considerando un coeficiente de seguridad frente a cargas durante la fase de construcción igual a 1,6, si el forjado se ha construido en el mes de enero, con unas temperaturas medias diarias a partir de la fecha de construcción de 5º C, suponiendo:

- El cemento utilizado es del tipo P-350.
- El cemento utilizado es del tipo PA-350 con adición puzolana.
- El cemento utilizado es del tipo PA-350 con adición escoria.
- El cemento utilizado es del tipo P-450 ARI.

Las acciones actuantes en el momento de descimbrar son (se considera posible la nevada reglamentaria):

Peso propio .....	320 kp/m <sup>2</sup>
Sobrecarga .....	80 kp/m <sup>2</sup>

**TOTAL**..... 400 kp/m<sup>2</sup>

lo que representa una relación de carga al descimbrar frente a la carga de proyecto de

$$\alpha = (400 \times 1,6) / (490 \times 1,6) = 0,816$$

Utilizando las curvas de evolución  $R_u$  correspondientes (Figs. n.º 1 a n.º 4) y suponiendo humedad alta al tratarse del mes de enero, resulta:

- Cemento P-350: 19 días.
- Cemento PA-350 (adición puzolana): 30 días.
- Cemento PA-350 (adición escoria): 17 días.
- Cemento P-450 ARI: 12 días.

Se observa una gran diferencia en el tiempo de descimbrado cuando se utiliza el cemento PA-350 con adición puzolana, casi el doble que cuando se utiliza un cemento con adición de escoria.

**EJEMPLO 2**

Calcular el ciclo de construcción que puede seguirse para la construcción de un edificio de 5 plantas, construidas mediante cimbrado de plantas sucesivas suponiendo los cuatro supuestos de utilización de cemento del ejemplo anterior, y teniendo en cuenta:

- El edificio se construye en primavera, en una época de temperatura media diaria aproximadamente igual a 10º C y humedad relativa media.
- La primera planta se cimbra sobre un suelo infinitamente rígido.
- Las cargas de proyecto para los forjados son:

Peso propio del forjado .....	250 kp/m <sup>2</sup>
Solado y revestimiento .....	100 kp/m <sup>2</sup>
Tabiquería .....	100 kp/m <sup>2</sup>
Sobrecarga .....	200 kp/m <sup>2</sup>

- Se puede adoptar un coeficiente de seguridad durante la fase de construcción igual a 1,4, y sobrecarga de construcción nula.

Si la relación de cargas al descimbrar a la carga total es igual a:

$$\alpha = (1,4 \times 250) / (1,6 \times 650) = 0,337$$

y el ciclo es de «d» días, el forjado más solicitado (planta 2.<sup>a</sup>) está sometido a las siguientes cargas \*:

EDAD (Días)	COEFICIENTE DE CARGA	CARGA ACTUANTE
0	0	0
d-2	1	0,337
d	1,5	0,506
2d-2	1,75	0,590
2d	2,25	0,758

Entrando en las curvas correspondientes de  $R_u$  se calcula el plazo d para que la resistencia unitaria crítica de descimbrado sea igual o superior a las cargas actuantes:

\* El análisis de la transmisión de cargas en cimbrados consecutivos puede seguirse en J. CALAVERA: «Cálculo, construcción y patología de forjados de edificación» (INTEMAC-1986), o en la tesis doctoral.



- a) Cemento P-350: 6 días.
- b) Cemento PA-350 (adición puzolana): 10 días.
- c) Cemento PA-350 (adición escoria): 5,5 días.
- d) Cemento P-450 ARI: 4,5 días.

Se vuelve a poner de manifiesto la diferencia de plazo de construcción entre los dos cementos con adiciones.

#### 4. APORTACIONES ORIGINALES

Como aportaciones originales más importantes se pueden citar las siguientes:

1. Se han obtenido las curvas experimentales de evolución de las características mecánicas de resistencia a compresión, tracción, adherencia y del módulo de deformación del hormigón para distintas formas de curado, variando la temperatura y humedad relativa, y diferentes tipos de cemento. Estos datos no eran conocidos hasta la fecha para los tipos de cemento utilizados en España, y bastante escasos en el extranjero y referidos al curado en cámara al 100% de HR y no en condiciones de obra, que es la información necesaria para los cálculos del plazo de descimbrado.
2. Gracias a las curvas experimentales de evolución obtenidas, se pueden calcular los plazos de descimbrado de una forma bastante rigurosa, cosa que hasta la fecha no era posible. Se expone el método de cálculo de dichos plazos de descimbrado.
3. La investigación ha puesto en evidencia que la creencia actual de que la resistencia crítica para el descimbrado es la de tracción, no es siempre cierta y que, para

algunos cementos y condiciones de curado, resulta crítica la resistencia de adherencia.

4. La fórmula del cálculo del plazo de descimbrado incluida en EH-82 es en general muy conservadora, conduciendo con frecuencia a plazos dobles de los necesarios según esta tesis.
5. Se han obtenido fórmulas de relación entre las distintas características mecánicas del hormigón, que tienen como novedad el haber sido obtenidas con hormigones de edad inferior a 28 días y a diferentes temperaturas de curado y condiciones de humedad, y estar separadas en bloques específicos por cada tipo de cemento. Las fórmulas que figuran en la normativa son fórmulas de diseño, no representando una relación directa. En particular la utilización de la relación entre resistencias a tracción y compresión:

$$f_{ck,t} = 0,45 \sqrt[3]{f_{ck}^2}$$

expuesta en EH-82 no es válida para los estudios de descimbrado y su aplicación conduce a plazos inseguros.

6. Se han comentado y comparado con la bibliografía existente las propiedades experimentales deducidas para los hormigones. Así, por ejemplo, se ha constatado la diferente evolución de resistencias de los cementos con adiciones y se ha puesto en evidencia la idoneidad general de la fórmula de la madurez propuesta por EH-82 frente a la propuesta por el MODEL CODE para cementos Portland, y la no idoneidad de ninguna de ellas para los PA ensayados cuando la temperatura desciende por debajo de los 10º C.

\* \* \*